

MAR 26 2002

TRANSMITTAL LETTER
(General - Patent Pending)

Docket No.
113278-005

In Re Application of Okuyama et al.

Serial No.
10/062,687

Filing Date
January 30, 2002

Examiner

Group Art Unit

Title: SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING DEVICE AND PROCESS FOR PRODUCING THE SAME

TO THE ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS:

Transmitted herewith is:

Copy of Japanese Priority Document Nos. 2000-218034; 2000-217663; 2000-217508; 2000-217799; 2000-218101 and 2001-200183

in the above identified application.

- ☒ No additional fee is required.
- ☐ A check in the amount of _____ is attached.
- ☒ The Assistant Commissioner is hereby authorized to charge and credit Deposit Account No. 02-1818 as described below. A duplicate copy of this sheet is enclosed.
- ☐ Charge the amount of _____
- ☐ Credit any overpayment.
- ☒ Charge any additional fee required.



Signature

Dated: March 14, 2002

Thomas C. Basso (Reg. No. 46,541)
Bell, Boyd & Lloyd LLC
P.O. Box 1135
Chicago, Illinois 60690

CC:

I certify that this document and fee is being deposited on March 14, 2002 with the U.S. Postal Service as first class mail under 37 C.F.R. 1.8 and is addressed to the Assistant Commissioner for Patents, Washington, D.C. 20231.

Signature of Person Mailing Correspondence

Robert Buccieri

Typed or Printed Name of Person Mailing Correspondence

501P1095



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 7月18日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-217663

出 願 人

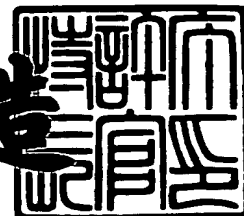
Applicant(s):

ソニー株式会社

2001年 5月18日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3042475

【書類名】 特許願

【整理番号】 0000407804

【提出日】 平成12年 7月18日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社
 内

 【氏名】 土居 正人

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社
 内

 【氏名】 奥山 浩之

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社
 内

 【氏名】 琵琶 剛志

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社
 内

 【氏名】 大畑 豊治

【特許出願人】

 【識別番号】 000002185

 【氏名又は名称】 ソニー株式会社

 【代表者】 出井 伸之

【代理人】

 【識別番号】 100110434

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 佐藤 勝

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 076186

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体発光素子及び半導体発光素子の製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 導電層と第 2 導電層に挟まれ、選択成長により成長基板の主面に平行でなく延在される活性層を有し、前記活性層の面積は前記成長基板上の前記選択成長の際に用いた窓領域の面積より大きくされ、若しくは前記選択成長により結晶成長した結晶成長層を前記成長基板の法線方向に投影した場合の写像面積よりも大きくされることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 2】 前記活性層はウルツ鉱型の結晶構造を有する化合物半導体からなることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 3】 前記成長基板の主面に平行でなく延在される前記活性層は、S面またはS面に等価な面に平行に延在されることを特徴とする請求項 2 記載の半導体発光素子。

【請求項 4】 前記S面またはS面に等価な面に平行に延在される前記活性層は前記窓領域よりも横方向に広がって形成されていることを特徴とする請求項 3 記載の半導体発光素子。

【請求項 5】 前記成長基板の主面に平行でなく延在される前記活性層にのみ電流の注入が可能である一対の電極が前記第 1 導電層と前記第 2 導電層にそれぞれ接続して形成されてなることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 6】 前記活性層は窒化物半導体からなることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 7】 前記活性層は窒化物ガリウム系半導体からなることを特徴とする請求項 6 記載の半導体発光素子。

【請求項 8】 前記活性層はInを含むことを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 9】 前記活性層は各素子毎に分離されていることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 10】 前記選択成長は前記成長基板上に形成された下地成長層から行われることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 1 1】 第 1 導電層及び第 2 導電層に挟まれ、選択成長により成長基板の主面に平行でなく延在され且つその延在される面内に屈曲部を含む活性層が形成されてなることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 1 2】 第 1 導電層と第 2 導電層に挟まれ、選択成長により成長基板の主面に平行でなく延在される活性層を有し、前記活性層の面積は、前記選択成長により結晶成長した結晶成長層を前記成長基板の法線方向に投影した場合の写像面積と少なくとも片側の前記導電層とその電極が接する面積の和よりも大きくもしくは同等であることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 1 3】 成長基板上に下地成長層を形成し、
前記下地成長層上に窓領域を有するマスク層を形成し、
前記マスク層からの選択成長により前記成長基板の法線方向に投影した場合の写像面積よりも大きな結晶表面を有する結晶成長層を形成し、
前記結晶成長層の前記結晶表面に第 1 導電層、活性層及び第 2 導電層を形成することを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術の分野】

本発明は選択成長により、第 1 導電層、活性層及び第 2 導電層からなる発光領域を形成する半導体発光素子に関し、特に窒化物半導体を用い選択成長によって素子を構成する半導体発光素子に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

現在、各研究機関や企業において、ディスプレイ用途などを目的とした三原色の LED (Light Emitting Diode) の研究開発や生産が活発に進められている。この中でも例えばプロジェクション型ディスプレイ光源用途など大型ディスプレイ用光源として、LED 素子を応用することが考えられており、LED 素子の高輝度化、高信頼性、および低価格化を図ることは重要な開発項目となっている。

【0 0 0 3】

図 1 6 は従来の面発光型の半導体発光素子の一例の断面図である。成長基板 9

0としてのサファイヤ基板が使用され、その成長基板90上に例えば窒化ガリウム系半導体層からなる第1導電層91が成長され、その第1導電層91上に窒化ガリウム系半導体層からなる活性層92と第2導電層93が基板主面に平行に積層される。これら活性層92と第2導電層93はその一部が削られて開口部96が底部に第1導電層91が臨むように形成される。この開口部96には第1電極94が第1導電層91と接続するように形成され、第2導電層93上には当該第2導電層93と接続する第2電極95が形成される。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

大型ディスプレイ用の光源を製造するためには、簡単には高輝度化に応じて素子サイズを大きくすることが考えられる。しかしながら、光学設計の要請から発光領域のサイズには限界があり、高輝度で大きな発光領域を有する素子は製造するのが困難である。また、素子内部に必要な光取り出し窓と電流を効率よく注入するための電極配置などから、素子内の活性領域にも制限がある。したがって実デバイスにおいては、規格値以上の電流注入などにより高輝度化に対応するのが現状であり、そのように電流注入量を高くした場合では素子の信頼性が低下してしまうと言った問題が発生する。

【0005】

また、発光ダイオードの素子サイズを小さくすることは、収率改善による低価格化が期待できるため、特に発光ダイオードを画素ごとに配置するディスプレイに応用する場合などにその必要性が高いものとなっている。ただし素子サイズを小さくすることは単位面積あたりの負荷を大きくすることから、前述の発光素子の高輝度化および高信頼性に対して通常相反することになる。

【0006】

さらに、素子サイズを数十ミクロン程度かそれ以下にする必要がある場合、図16に示した電極94、95などの電極領域や素子分離溝の形成領域が、素子の活性層を形成できる領域を大きく制限してしまう。特に導電層93、91と電極95、94とが接触する領域は、抵抗が高くならないように、なるべく大きくする必要があり、ところが、電極のサイズを大きくした場合では、逆に面発光により

光を導出できる領域が狭くなることになり、それだけ発光の輝度が低下してしまうことになる。

【 0 0 0 7 】

そこで本発明は、上述に技術的な課題に鑑み、発光領域となる活性層になるべく負荷をかけずに素子の信頼性を保ち、また、光取り出し効率を改善して輝度の高い半導体発光素子を提供することを目的とする。

【 0 0 0 8 】

【課題を解決するための手段】

本発明の半導体発光素子は、第 1 導電層と第 2 導電層に挟まれ、選択成長により成長基板の主面に平行でなく延在される活性層を有し、前記活性層の面積は前記成長基板上の前記選択成長の際に用いた窓領域の面積より大きくされ、若しくは前記選択成長により結晶成長した結晶成長層を前記成長基板の法線方向に投影した場合の写像面積よりも大きくされることを特徴とする。

【 0 0 0 9 】

また、本発明において、活性層の面積は、前記選択成長により結晶成長した結晶成長層を前記成長基板の法線方向に投影した場合の写像面積と少なくとも片側の前記導電層とその電極が接する面積の和よりも大きくもしくは同等とすることができる。

【 0 0 1 0 】

活性層は第 1 導電層と第 2 導電層に挟まれ、これら第 1 導電層と第 2 導電層を介して電流が注入されて発光する。そして、このように活性層の面積を成長基板上の選択成長の際に用いた窓領域の面積より大きくし、或いは選択成長した成長層の写像面積よりも大きくすることで、活性層に注入される電流の局所的な電流密度を下げるることができる。また、活性層の面積は前記写像面積に電極の面積を加えたものよりも更に大きなサイズとすることも可能である。活性層の面積を大きくすることで活性層に注入すべき電流密度を下げるることができる。

【 0 0 1 1 】

【発明の実施の形態】

以下において、本発明の半導体発光素子とその製造方法について詳細に説明す

る。

【0012】

本発明の半導体発光素子は、第1導電層と第2導電層に挟まれ、選択成長により成長基板の主面に平行でなく延在される活性層を有し、前記活性層の面積は前記成長基板上の前記選択成長の際に用いた窓領域の面積より大きくされ、若しくは前記選択成長により結晶成長した結晶成長層を前記成長基板の法線方向に投影した場合の写像面積よりも大きくされることを特徴とする。

【0013】

本発明の半導体発光素子に用いられる成長基板は、良好な結晶性を有する活性層を形成可能な基板であれば特に限定されず、種々のものを使用できる。例示すると、成長基板として用いることができるのは、サファイア (Al_2O_3 、A面、R面、C面を含む。) SiC (6H、4H、3Cを含む。) GaN、Si、ZnS、ZnO、AlN、LiMgO、GaAs、 MgAl_2O_4 、InAlGaNなどからなる基板であり、好ましくはこれらの材料からなる六方晶系基板または立方晶系基板であり、より好ましくは六方晶系基板である。例えば、サファイヤ基板を用いる場合では、窒化ガリウム (GaN) 系化合物半導体の材料を成長させる場合に多く利用されているC面を主面としたサファイヤ基板を用いることができる。この場合の基板主面としてのC面は、5乃至6度の範囲で傾いた面方位を含むものである。成長基板自体は製品としての発光素子には含まれない構造も可能であり、製造の途中で素子部分を保持させるために使用され、完成前に取り外しされる構造であっても良い。

【0014】

この成長基板上に形成される結晶成長層は選択成長によって形成されるものであり、成長基板の主面に対して傾斜した結晶面を有することが望ましい。結晶成長層は、第1導電型層、活性層、及び第2導電型層からなる発光領域を形成可能な材料層であれば良く、特に限定されるものではないが、その中でもウルツ鉱型の結晶構造を有することが好ましい。このような結晶層としては、例えばIII族系化合物半導体やBeMgZnCdS系化合物半導体、BeMgZnCdO系化合物半導体を用いることができ、更には窒化ガリウム (GaN) 系化合物半導

体、窒化アルミニウム (AlN) 系化合物半導体、窒化インジウム (InN) 系化合物半導体、窒化インジウムガリウム (InGaN) 系化合物半導体、窒化アルミニウムガリウム (AlGaN) 系化合物半導体を好ましくは形成することができ、特に窒化ガリウム系化合物半導体などの窒化物半導体が好ましい。なお、本発明において、 InGaN 、 AlGaN 、 GaN などは必ずしも、3元混晶のみ、2元混晶のみの窒化物半導体を指すのではなく、例えば InGaN では、 InGaN の作用を変化させない範囲での微量の Al 、その他の不純物を含んでいても本発明の範囲であることはいうまでもない。

【0015】

この結晶層の選択成長方法としては、種々の気相成長法を挙げることができ、例えば有機金属化合物気相成長法 (MOCVD (MOVPE) 法) や分子線エピタキシー法 (MBE 法) などの気相成長法や、ハイドライド気相成長法 (HVP 法) などを用いることができる。その中でも MOCVD 法によると、迅速に結晶性の良いものが得られる。 MOCVD 法では、 Ga ソースとして TMG (トリメチルガリウム)、 TEG (トリエチルガリウム)、 Al ソースとしては TMA (トリメチルアルミニウム)、 TEA (トリエチルアルミニウム)、 In ソースとしては、 TMI (トリメチルインジウム)、 TEI (トリエチルインジウム) などのアルキル金属化合物が多く使用され、窒素源としてはアンモニア、ヒドラジンなどのガスが使用される。また、不純物ソースとしては Si であればシランガス、 Ge であればゲルマンガス、 Mg であれば Cp2Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム)、 Zn であれば DEZ (ジエチルジंक) などのガスが使用される。 MOVPE 法では、これらのガスを例えば 600°C 以上に加熱された基板の表面に供給して、ガスを分解することにより、 InAlGaN 系化合物半導体をエピタキシャル成長させることができる。

【0016】

結晶成長層を形成する前に、下地成長層を基板上に形成することが好ましい。この下地成長層は例えば窒化ガリウム層や窒化アルミニウム層からなり、下地成長層は低温バッファ層と高温バッファ層との組合せ或いはバッファ層と結晶種として機能する結晶種層との組合せからなる構造であっても良い。この下地成長層

も結晶成長層と同様に、種々の気相成長法で形成することができ、例えば有機金属化合物気相成長法（MOCVD法）や分子線エピタキシー法（MBE法）、ハイドライド気相成長法（HVPE法）などの気相成長法を用いることができる。結晶種層などを組み合わせて成長させることもできる。バッファ層は基板と窒化物半導体の格子不整合を緩和することができる。したがって、窒化物半導体と格子定数の近い基板、格子定数が一致した基板を用いる場合にはバッファ層が形成されない場合もある。また、基板がSiCまたはSiからなる場合は下地成長層はなくとも良い。

【0017】

そして、本発明においては、成長基板の主面に平行でなく延在される活性層を形成するために、選択成長法を用いることができる。結晶成長層を選択成長によって形成する場合、容易に結晶成長層は基板主面に対して傾斜した結晶面を有した構造を呈する。成長基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面は、その基板主面の選択にも依存するが、ウルツ鉱型の（0001）面[C面]を基板主面とした場合では、（1-100）面[M面]、（1-101）面[S面]、（11-20）面[A面]、（1-102）面[R面]、（1-123）面[N面]、（11-22）面およびこれらに等価な結晶面のうちから選ばれた傾斜結晶面を挙げることができ、特にS面や（11-22）面およびこれらに等価な結晶面で用いることが好ましい。これらに等価な結晶面とは前述のように、5乃至6度の範囲で傾いた面方位を含むものである。特にS面はC+面の上に選択成長した際に見られる安定面であり、比較的得やすい面であって六方晶系の面指数では（1-101）面である。S面についてS+面とS-面が考えられるが、本明細書では単にS面として場合はS+面について言及しているものとする。同様に、C面についてもC+面とC-面があるが、基板主面として多く利用される面はC+面であり、そのC+面の面指数は（0001）面である。本明細書では単にC面として場合はC+面について言及しているものとする。このS面については、前述のように窒化ガリウム系化合物半導体で結晶層を構成した場合には、S面上、GaからNへのボンド数が2または3とC-面の次に多くなる。ここでC-面はC+面の上には事実上得ることができないので、S面でのボンド数は最も多いものとなる。従って

、実効的にV/III 比が上昇することになり、積層構造の結晶性の向上に有利である。また、基板と異なる方位に成長すると基板から上に伸びた転位が曲がることもあり、欠陥の低減にも有利となる。

【 0 0 1 8 】

本発明の半導体発光素子においては、結晶層は基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する構造を有しているが、特に、結晶層はS面または該S面に実質的に等価な面が略六角錐形状の斜面をそれぞれ構成する構造であっても良く、或いは、S面または該S面に実質的に等価な面が略六角錐台形状の斜面をそれぞれ構成する共にC面または該C面に実質的に等価な面が前記略六角錐台形状の上平面部を構成する構造、所謂略六角錐台形状であっても良い。またこれらの略六角錐台形状や、略六角錐形状が帯状に形成されたものであっても良い。また、四角台形、長方台形状などの形状であっても良い。これら略六角錐形状や略六角錐台形状は、正確に六角錐であることを必要とせず、その中の幾つかの面が消失したようなものも含む。また、結晶層の結晶面間の稜線は必ずしも直線でなくとも良い。また、略六角錐形状や略六角錐台形状は直線状に延在された形状であっても良い。

【 0 0 1 9 】

具体的な選択成長法としては、そのような選択成長は下地成長層の一部を選択的に除去することを利用して行われたり、あるいは、選択的に前記下地成長層上にまたは前記下地成長層形成前に形成されたマスク層の開口された部分や窓領域を利用して行われる。例えば、前記下地成長層がバッファ層と結晶種層とからなる場合、バッファ層上の結晶種層を点在する $10\mu\text{m}$ 径程度の小領域に細分化し、それぞれの部分からの結晶成長によってS面等を有する結晶成長層を形成することが可能である。例えば、細分化された結晶種層は、発光素子として分離するためのマージンを見込んで離間するように配列することができ、個々の小領域としては、円形状、正形状、六角形状、三角形状、矩形状、菱形状、帯状、格子状およびこれらの変形状などの形状にすることができる。下地成長層の上にマスク層を形成し、そのマスク層を選択的に開口して窓領域を形成することでも、選択成長が可能である。マスク層は例えば酸化シリコン層或いは窒化シリコン層

によって構成することができる。窓領域はマスク層に形成される開口部であり、円形状、正形状、六角形状、三角形状、矩形状、菱形状、帯状、格子状、楕円形状およびこれらの変形状などの種類の形状にすることができる。前述のような略六角錐台形状や略六角錐形状が直線状に延在された形状である場合、一方向を長手方向とするような角錐台や角錐形状はマクス層の窓領域を帯状にしたり、結晶層を帯状にすることで可能である。

【 0 0 2 0 】

選択成長を用いマスク層の窓領域を $10\mu\text{m}$ 程度の円形（或いは辺が $1-10$ 方向の六角形、または辺が $11-20$ 方向の六角形など）にすることでその約 2 倍程度の選択成長領域まで簡単に作製できる。また S 面が基板と異なる方向であれば転位を曲げる効果、および転位を遮蔽する効果があるために、転位密度の低減にも役立つ。

【 0 0 2 1 】

本発明は選択成長により活性層を斜面に形成するという基本構造であることから、本発明の効果を十分得るには基本となる素子サイズが結晶成長層の層厚と同等のサイズ、すなわち大きくとも $50\mu\text{m}$ 程度の大きさであることが好ましく、かつ素子サイズが小さい場合ほど効果的である。しかし、基本構造の 1 次元、あるいは 2 次元配列を一つの素子に内包すればどのようなサイズの素子についても適用可能である。特に導電層の抵抗値が高いために電極引き回しの必要な第 1 導電層について高密度のコンタクトを必要としたり、第 2 導電層のなるべく大きな面積のコンタクトを必要とする場合において本発明の半導体発光素子は効果的である。

【 0 0 2 2 】

本発明の半導体発光素子は、第 1 導電層と第 2 導電層に挟まれた構造の活性層を有しており、活性層は成長基板の主面に対して平行でない面内に延在される。第 1 導電型は p 型又は n 型のクラッド層であり、第 2 導電型はその反対の導電型である。例えば C 面を構成する結晶層をシリコンドープの窒化ガリウム系化合物半導体層によって構成した場合は、n 型クラッド層をシリコンドープの窒化ガリウム系化合物半導体層によって構成し、その上に InGa_N 層を活性層として

形成し、さらにその上に p 型クラッド層としてマグネシウムドーピングの窒化ガリウム系化合物半導体層を形成してダブルヘテロ構造をとることができる。活性層である InGa_N 層を AlGa_N 層で挟む構造とすることも可能である。また、活性層は単一のバルク活性層で構成することも可能であるが、単一量子井戸 (SQW) 構造、二重量子井戸 (DQW) 構造、多重量子井戸 (MQW) 構造などの量子井戸構造を形成したものであっても良い。量子井戸構造には必要に応じて量子井戸の分離のために障壁層が併用される。活性層を InGa_N 層とした場合には、特に製造工程上も製造し易い構造となり、素子の発光特性を良くすることができる。さらにこの InGa_N 層は、窒素原子の脱離しにくい構造である S 面の上での成長では特に結晶化しやすくしかも結晶性も良くなり、発光効率を上げることが出来る。なお、窒化物半導体はノンドーピングでも結晶中にできる窒素空孔のために n 型となる性質があるが、通常 Si、Ge、Se などのドナー不純物を結晶成長中にドーピングすることで、キャリア濃度の好ましい n 型とすることができる。また、窒化物半導体を p 型とするには、結晶中に Mg、Zn、C、Be、Ca、Ba などのアクセプター不純物をドーピングすることによって得られる。

【0023】

これら第 1 導電型層、活性層、及び第 2 導電型層は成長基板の主面に対して傾斜した結晶成長層に形成されるが、このような成長基板の主面と平行でない面内への活性層の延在は傾斜した結晶面が形成されているところで続けて結晶成長させれば容易に行うことができる。また、結晶面が稜線の両側に延在するところに活性層を形成することで、活性層は屈曲部を含んで延在される。結晶成長層が略六角錐形状や略六角錐台形状となり、各傾斜した結晶成長層の表面が S 面等とされる場合には、第 1 導電型層、活性層、及び第 2 導電型層からなる発光領域を全部又は一部の S 面上に形成することができる。

【0024】

略六角錐台形状の場合には、基板主面に平行な上面上、例えば C 面上にも第 1 導電型層、活性層、及び第 2 導電型層を形成できる。傾斜した S 面を利用して発光させることで、平行平板では多重反射により光が減衰していくが、傾いた面があると光は多重反射の影響を免れて半導体の外にでることができるという利点がある。

ある。第1導電型層すなわちクラッド層はS面を構成する結晶層と同じ材料で同じ導電型とすることができ、S面を構成する結晶層を形成した後、連続的に濃度を調整しながら形成することもでき、また他の例として、S面の構成する結晶層の一部が第1導電型層として機能する構造であっても良い。

【0025】

本発明の半導体発光素子では、傾斜した傾斜結晶面の結晶性の良さを利用して、発光効率を高めることができる。特に、結晶性が良いS面にのみ電流を注入すると、S面はInの取り込みもよく結晶性も良いので発光効率を高くすることができる。また、活性層の実質的なS面に平行な面内に延在する面積は該活性層を基板又は前記下地成長層の主面に投影した場合の面積より大きいものとすることができる。このように活性層の面積を大きなものとする事で、素子の発光する面積が大きくなり、それだけで電流密度を低減することが出来る。また、活性層の面積を大きくとることで、輝度飽和の低減に役立ち、これにより発光効率を上げることが出来る。

【0026】

結晶成長層もしくは第1導電層と第2導電型層には、それぞれ電極が形成される。接触抵抗を下げるために、コンタクト層を形成し、その後で電極をコンタクト層上に形成しても良い。これらの電極を蒸着法により形成する場合、p電極、n電極が結晶層とマスクの下に形成された結晶種層との双方についてしまうと短絡してしまうことがあり、それぞれ精度よく蒸着することが必要となる。本発明の基本構造を発光ダイオードとするには第1、第2導電層にそれぞれ電極を形成すれば良く、どちらの構造に対しても、光を取り出す方向は必要に応じて表裏どちらでも可能である。すなわち、透明基板であればどちらの構造であっても基板の裏側から光を取り出せるし、透明電極を用いればどちらの構造でも表側から光を取り出すことができる。

【0027】

本発明の半導体発光素子の要旨の1つは、選択成長することによって、活性層を成長基板に対して平行でない平面上にも形成することで活性層の面積を大きくするという点である。素子サイズが限定されている場合、素子内での活性層の有

効面積が大きいほうが、同じ輝度を得るために必要な単位面積あたりの電流注入密度を小さくすることができる。したがって、有効面積が大きい構造の方が、同じ輝度を得るには信頼性が向上し、活性層に同じ負荷をかけるのであれば輝度を向上できる。特に活性層の総面積と選択成長領域の成長基板に占める面積との差が、少なくとも片側の電極とのコンタクトに必要な面積より大きくなれば、コンタクト領域によって制限された活性層領域分が補償されることになる。したがって、本発明の半導体発光素子を用いることで、該発光素子の素子サイズを必要なだけ小さくしても、構造上の負担すなわち電流が集中してしまうような事態が軽減されることになる。

【 0 0 2 8 】

ここで、例えば断面三角形のストライプパターンの結晶成長層が奥行き方向に続いていると仮定し、基板主面と結晶成長層の傾斜面の傾き角を θ とすると、活性層の全領域について成長基板の法線ベクトル方向に投影した写像の写像面積と比較すると、活性層の有効面積は最大 $1/\cos \theta$ 倍大きくなることがわかる。断面三角形のストライプパターンの構造に限らず、選択成長により多角台形や、多角錐などを形成後、その表面に基板に平行でない活性層が形成できれば、有効面積はほぼ必然的に大きくなる。なお、写像面積とは、基板主面における占有面積に等しく、基板主面に垂直な法線ベクトル方向に光を仮想的に照射した場合に結晶成長層によって形成される影部分の面積に等しい。

【 0 0 2 9 】

さらに非成長領域を小さくし、かつ成長阻害膜すなわちマスク層などにより分離され、隣り合った安定面同士を接触しないぎりぎりまで成長すれば、成長基板の面積より活性層面積を大きくすることも可能である。ただし従来例の発光素子（図 1 6 参照）では、一回の成長での最大面積は成長基板の成長面の面積に等しく、また電極や素子分離溝を付加するとさらに活性層の有効面積は小さくなるため、かならずしも活性層の総面積が成長基板の面積より大きくならなくても十分効果がある。

【 0 0 3 0 】

活性層の有効面積を、成長基板上の選択成長の際に用いた窓領域の面積より大き

くし、若しくは選択成長により結晶成長した結晶成長層を成長基板の法線方向に投影した場合の写像面積よりも大きくすることで、活性層に注入される電流の密度を下げることができ、素子の信頼性を向上できる。また、活性層の有効面積が、選択成長領域を成長基板へ法線ベクトル方向に投影した写像の面積と少なくとも片側の電極と導電層との接触面積の和よりも大きくすることでも、活性層に注入される電流の密度を下げる事ができ、素子の信頼性を向上できる。特に活性層の総面積と選択成長領域の成長基板上に占める写像面積との差が、少なくとも片側の電極とのコンタクトに必要な面積より大きくなれば、コンタクト領域によって制限された活性層領域分が補償される。

【 0 0 3 1 】

例えば $30\mu\text{m}$ 角の発光ダイオード素子の製造について考えると、第1電極と第1導電層である下地導電層が接触する領域は $20\mu\text{m}\times 5\mu\text{m}$ 程度、活性層を配置できる選択成長領域は大きくとも $20\mu\text{m}$ 角程度である。したがって、活性層の総面積を $500\mu\text{m}^2$ 以上に設定することで、本発明の素子構造が得られることになる。実際に、選択成長領域に底辺が $20\mu\text{m}$ 角で斜面の角度 45° の四角錐を形成し、活性層がその斜面に均一に形成されると、活性層の総面積は $20\mu\text{m}\times 20\mu\text{m}/\cos 45^\circ = 566\mu\text{m}^2$ となり、接触面積に比べて活性層の有効面積を十分増大することができる。また、斜面の角度が大きければさらに効果的であることも明らかである。例えば、ウルツ鉱型の(0001)面に対する安定面(1-101)面は約 62° 、せん亜鉛型の(001)面に対する安定面(111)面は 54.7° であるから、本発明の活性層の領域を広げて信頼性を確保するという効果を十分に得ることができる。

【 0 0 3 2 】

なお、本発明の半導体発光素子は複数個を並べて画像表示装置や照明装置を構成することが可能である。各素子を3原色分揃え、走査可能に配列することで、S面を利用して電極面積を抑えることができるため、少ない面積でディスプレイとして利用できる。

【 0 0 3 3 】

以下、本発明を各実施例を参照しながら更に詳細に説明する。なお、本発明の半導体発光素子は、その要旨を逸脱しない範囲で変形、変更などが可能であり、

本発明は以下の実施例に限定されるものではない。

【0034】

実施例 1

本実施例の半導体発光素子は、例えばC(0001)面サファイア基板の如き成長基板 1 上にn型GaN層からなる下地成長層 2 をMOCVD (MOVPE) 法などにより結晶成長し、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜、あるいはタングステン膜などからなる成長阻害膜としてのマスク層 3 を形成する。

【0035】

このマスク層 3 には六角形状の開口部である窓領域 4 が形成され、その窓領域 4 から選択成長によって形成された断面三角形形状の結晶成長層 5 が形成されている。この結晶成長層 5 は例えばn型GaN層やAlGaN層からなり、その断面は略正三角形形状となるが、上から見た場合には六角形であり、全体としては六角錐の形状を有する。

【0036】

結晶成長層 5 の基板主面に対して傾斜した結晶表面はS面またはS面と等価な面を有しており、結晶成長層 5 の最外部の濃度などを調整して形成されたn型クラッド層の上に活性層 6 及びp型クラッド層として機能する第2導電層 7 が積層されている。これら活性層 6 及びp型クラッド層として機能する第2導電層 7 は結晶成長層 5 のS面を被覆するように形成されており、活性層 6 は選択成長により形成された結晶成長層 5 のS面に沿って成長基板 1 の主面に平行でなく延在されている。第2導電層 7 は例えばp型GaN層やAlGaN層からなる。活性層 6 上にはいわゆるAlGaN層を形成しても良い。

【0037】

第2導電層 7 上には、p電極として機能する第2電極 9 が例えばNi/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auなどの多層金属膜によって構成されており、n電極として機能する第1電極 8 が例えばTi/Al/Pt/Auなどの多層金属膜によってマスク層 3 を開口した部分に形成されている。第1電極 8 および第2電極 9 は例えば蒸着やリフトオフなどの手法を用いて形成される。

【0038】

本実施例の半導体発光素子は、その活性層 6 の面積が大きいことから、活性層 6 に注入される電流密度を緩和させることが可能であるが、特に活性層 6 は結晶成長層 5 の S 面に沿って成長基板 1 の主面に平行でなく延在されているために、その活性層 6 の面積 S は十分な広がりをもって形成されている。まず、活性層 6 の面積 S が最も大きい場合には、図 1 に示すように、活性層 6 の面積 S を第 1 電極 8 の面積 S_2 と結晶成長層 5 を基板主面に写像した写像面積 S_1 の和 ($S_1 + S_2$) よりもさらに大きな面積を有しているものとすることができる。

【 0 0 3 9 】

例えば、本実施例に素子が $30\mu\text{m}$ 角の発光ダイオード素子である場合には、第 1 電極と第 1 導電層である下地導電層が接触する領域すなわち S_2 は $20\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ 程度 ($100\mu\text{m}$ 程度)、活性層を配置した写像領域 S_1 は大きくとも $20\mu\text{m}$ 角程度の ($400\mu\text{m}$ 程度) である。一方、選択成長により形成された結晶成長層 5 に底辺が $20\mu\text{m}$ 角で斜面の角度 45° の四角錐を形成し、活性層 6 がその斜面に均一に形成されると、活性層 6 の総面積は $20\mu\text{m} \times 20\mu\text{m} / \cos 45^\circ = 566\mu\text{m}^2$ となり、S 面を用いた六角錐形状の場合 (角度約 62°) には更に活性層の面積 S が増大する。

【 0 0 4 0 】

図 2 と図 3 は輝度飽和を緩和する目的で活性層 6 の面積 S を拡大した場合には、それぞれ窓領域 3 の面積 W_1 (図 2 参照) や結晶成長層の基板主面への法線ベクトル方向への写像面積 W_2 (図 3 参照) より大きくなることを示したものであり、前述のように活性層 6 が結晶成長層 5 の S 面に沿って成長基板 1 の主面に平行でなく延在される場合には、その活性層 6 の面積 S は、面積 W_1 や写像面積 W_2 よりは大きくなり、十分な広がりをもって形成されている。従って、有効に輝度飽和を緩和することができ、素子の信頼性を改善できる。

【 0 0 4 1 】

図 1 の素子構造の半導体発光素子では、活性層の面積拡大による効果に加えて、基板主面に対して傾斜した S 面を利用することから、その窒素原子からガリウム原子へのボンドの数が増大することになり、実効的な V/I 比を高くすることが可能であり、形成される半導体発光素子の高性能化を図ることができる。

また、基板から上に延びた転位が曲がることもあり、欠陥を低減することも可能となる。さらに、基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を用いることで、多重反射を防止することもでき、発生した光を効率良く素子外部に導くことができる。また、活性層 6 が島状に分離している構造をとるため、活性層 6 をエッチングすることの必要がなくなる。したがって活性層に対して余計なダメージがなくなる。また、電極によって活性層 6 の有効面積が小さくなることもないという利点も得られる。

【 0 0 4 2 】

実施例 2

本実施例は、ストライプ状の結晶成長層 2 4 を成長基板 2 0 上に形成する例であり、図 4 に示すように、成長基板 2 0 上形成された下地成長層 2 1 上のマスク層 2 2 の窓領域からストライプ状の結晶成長層 2 4 が形成されている。ストライプ状の結晶成長層 2 4 はその側面 2 6 が S 面とされ、傾斜した側面 2 6 にも活性層 2 5 が延在されていることから、活性層 2 5 の面積は結晶成長層 2 4 の写像面積よりも大きなサイズとなる。従って、有効に輝度飽和を緩和することができ、素子の信頼性を改善できる。

【 0 0 4 3 】

実施例 3

本実施例は、長方台形状の結晶成長層 3 4 を成長基板 3 0 上に形成する例であり、図 5 に示すように、成長基板 3 0 上形成された下地成長層 3 1 上のマスク層 3 2 の窓領域からストライプ状で且つ長方台形状の結晶成長層 3 4 が形成されている。長方台形状の結晶成長層 3 4 はその側面 3 3 S が S 面とされ、長手方向の端部の面 3 4 は (1 1 - 2 2) 面とされる。結晶成長層 3 4 の上面 3 3 C は基板主面と同じ C 面とされる。活性層は図示を省略しているが、傾斜した側面 3 3 S、面 3 4、上面 3 3 C にも延在され、活性層の面積は結晶成長層 3 4 の写像面積よりも大きなサイズとなる。従って、有効に輝度飽和を緩和することができ、素子の信頼性を改善できる。

【 0 0 4 4 】

実施例 4

本実施例は、図 6 に示すように、四角台形状の結晶成長層 4 4 を成長基板 4 0 上に形成する例であり、成長基板 4 0 上形成された下地成長層 4 1 上のマスク層 4 2 の窓領域からマトリクス状に配列されたパターンで四角錐台形状の結晶成長層 4 3 が形成されている。四角錐台形状の結晶成長層 4 3 はその傾斜した一側面 4 3 S が S 面とされ、他の傾斜した一側面 4 4 は (1 1 - 2 2) 面とされる。結晶成長層 4 3 の上面 4 3 C は基板主面と同じ C 面とされる。活性層は図示を省略しているが、傾斜した側面 4 3 S、面 4 4、上面 4 3 C にも延在され、活性層の面積は結晶成長層 4 3 の写像面積よりも大きなサイズとなる。従って、有効に輝度飽和を緩和することができ、素子の信頼性を改善できる。

【 0 0 4 5 】

実施例 5

本実施例は、図 7 に示すように、六角錐形状の結晶成長層 5 3 を成長基板 5 0 上に形成する例であり、成長基板 5 0 上形成された下地成長層 5 1 上のマスク層 5 2 の窓領域からマトリクス状に配列されたパターンで六角錐形状の結晶成長層 5 3 が形成されている。六角錐形状の結晶成長層 5 3 はその傾斜した各側面が S 面とされ、活性層は図示を省略しているが、その断面は図 1 のようになり、傾斜した各 S 面に沿って延在され、活性層の面積は結晶成長層 5 3 の写像面積よりも大きなサイズとなる。従って、有効に輝度飽和を緩和することができ、素子の信頼性を改善できる。

【 0 0 4 6 】

実施例 6

本実施例は、図 8 に示すように、六角錐台形状の結晶成長層 6 3 を成長基板 6 0 上に形成する例であり、成長基板 6 0 上形成された下地成長層 6 1 上のマスク層 6 2 の窓領域からマトリクス状に配列されたパターンで六角錐台形状の結晶成長層 6 3 が形成されている。六角錐形状の結晶成長層 6 3 はその傾斜した各側面 6 3 S が S 面とされ、上面 6 3 C が基板主面と同じ C 面とされている。また、六角錐形状の結晶成長層 6 3 の底面側には M 面 (1 - 1 0 0) 面も低い高さで形成される。活性層は図示を省略しているが、その断面は図 1 のようになり、傾斜した各 S 面および C 面に沿って延在され、活性層の面積は結晶成長層 6 3 の写像面

積よりも大きなサイズとなる。従って、有効に輝度飽和を緩和することができ、素子の信頼性を改善できる。

【0047】

実施例 7

本実施例は図 1 に示した半導体発光素子を製造する方法であり、図 9 乃至図 14 を参照してその製造方法を工程順に説明する。

【0048】

図 9 に示すように、サファイヤ基板などの成長基板 70 上に、n 型 GaN 層 71 を下地成長層として例えば MOCVD 法などにより形成する。このとき、n 型 GaN 層 71 は最初から n 型である必要はなく、最上面が n 型であれば良い。一例として、シリコンをドーピングすることで n 型の GaN 層 71 を形成することができる。

【0049】

次に図 10 に示すように、CVD などによりシリコン酸化膜、シリコン窒化膜、あるいはタンゲステン膜などからなる成長阻害膜としてのマスク層 72 を n 型の GaN 層 71 上の全面に形成し、さらに素子を形成する領域に対応してマスク層 72 を除去して六角形状の窓領域 73 を複数形成する。

【0050】

続いて、図 11 に示すように、選択成長が行われ、窓領域 73 から結晶成長により結晶成長層である n 型 (Al) GaN 層 74 が形成される。この n 型 (Al) GaN 層 74 はクラッド層としても機能し、略六角錐形状を呈する。傾斜した側面は S 面とされる。

【0051】

この傾斜した側面に対してさらに活性層となる InGaIn 層 75 と p 型 (Al) GaN 層 76 を図 12 のように積層する。活性層となる InGaIn 層 75 は結晶成長層である (Al) GaN 層 74 の S 面に沿って成長基板 70 の主面に平行でなく延在され、その活性層の面積 S は、窓領域 73 の面積や結晶成長層の写像面積よりは大きくなり、十分な広がりをもって形成される。InGaIn 層 75 上には AlGaIn 層を形成しても良い。

【 0 0 5 2 】

次に図 1 3 に示すように、マスク層上に例えばpoly-GaNが成長した場合には余分な部分をエッチングで除去し、マスク層 7 2 を全部または一部除去して n 側のコンタクト領域 7 7 を形成する。次いで、蒸着などにより p 電極 7 9 となる Ni/Pt/Au や Ni (Pd) /Pt/Au など、n 電極 7 8 となる Ti/Al/Pt/Au などコンタクト領域 7 7 にリフトオフなどにより形成し (図 1 4)、アロイ化することで基板上における素子が完成する。

【 0 0 5 3 】

この後、素子間の分離が必要な場合、基本構造のサイズが前述のように陰に小さいことから、それぞれの分離は困難であるが、素子の基本構造を 1 次元あるいは 2 次元配列した領域をダイシングやへき開などにより分離するだけでもよい。内部の基本構造は各々独立に駆動してもしなくてもよい。また、サファイア上に結晶成長した GaN 結晶は、サファイア/GaN 界面を UV レーザのサファイア側からのアブレーションによりサファイア基板から剥離できるという報告 (APL-75-10, 13 60-2, W.S.Wong etc.) もある。これを利用すればアブレーション前か後にエッチングにより一回目の成長膜 (第 1 導電膜) を分離することで、本発明の基本構造を単一の半導体発光素子とすることができる。

【 0 0 5 4 】

このように本実施例の半導体発光素子の製造方法では、選択成長により S 面が容易に形成され、その S 面を側面とする結晶成長層に活性層を形成することで、大きい面積の活性層を得ることができる。

【 0 0 5 5 】

実施例 8

図 1 5 に実施例 8 の半導体発光素子の構造を示す。成長基板 8 0 上に部分的に第 2 成長層 8 1 が形成され、該第 2 成長層 8 1 を覆うように第 1 導電層 8 1、活性層 8 3、第 2 導電層 8 9 が形成される。本例ではマスク層と窓領域を有していないが、選択成長により、活性層 8 3 の面積は結晶成長層の写像面積よりも大きなサイズとなる。従って、有効に輝度飽和を緩和することができ、素子の信頼性を改善できる。すなわち、マスク層などの成長阻害膜を用いない場合でも、エッ

チングなどにより成長基板や一度成長した結晶膜に凹凸を形成するなどの微細加工により、結晶成長することで同様の安定面を形成でき、同等の効果を得られる。

【0056】

他の実施例

なお、本発明においては、窓領域として六角錐を形成するには六角形開口がもっとも望ましいが、円形開口においても最終的には安定面が自己形成されるため、開口形状や境界の方向は任意でかまわない。またウルツ鉱型結晶では、(1-101)面以外にも(11-22)面や(1-100)面などの安定面があり、これらを自己形成した構造についても本発明を適用できる。

【0057】

現在赤色LED材料として一般的なAlGaInP系化合物はせん亜鉛型結晶であるが、(001)基板に対して(011)面、(111)面、(11-1)面などの安定面があり、適当な条件で成長することにより、その安定面とその上の活性層を形成することは可能である。

【0058】

【発明の効果】

本発明の半導体発光素子においては、活性層の有効面積を大きくとることができ、抵抗低下、発熱低下、信頼性向上が期待でき、活性層への単位面積あたりの負荷を軽減できるため、高輝度化、高信頼性が期待できる。素子サイズを小さくした場合、特に有効である。また、本発明の半導体発光素子においては、活性層と同時に導電層面積や電極とのコンタクト面積を大きくすることができ、結晶層の結晶面が斜面を持つため、光取り出し効率を改善することも可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の実施例1の半導体発光素子の構造を示す断面図である。

【図2】

本発明の実施例1の半導体発光素子についての窓領域の面積 W_1 を示すための素子断面図である。

【図 3】

本発明の実施例 1 の半導体発光素子についての結晶成長層の写像面積 W_2 を示すための素子断面図である。

【図 4】

本発明の実施例 2 のストライプ状の結晶成長層を形成した半導体発光素子の構造を示す斜視図である。

【図 5】

本発明の実施例 3 の長方台状の結晶成長層を形成した半導体発光素子の構造を示す斜視図である。

【図 6】

本発明の実施例 4 の四角錐台状の結晶成長層を形成した半導体発光素子の構造を示す斜視図である。

【図 7】

本発明の実施例 5 の六角錐状の結晶成長層を形成した半導体発光素子の構造を示す斜視図である。

【図 8】

本発明の実施例 6 の六角錐台状の結晶成長層を形成した半導体発光素子の構造を示す斜視図である。

【図 9】

本発明の実施例 7 の半導体発光素子の製造工程における下地成長層の形成工程を示す製造工程斜視図である。

【図 10】

本発明の実施例 7 の半導体発光素子の製造工程における窓領域の形成工程を示す製造工程斜視図である。

【図 11】

本発明の実施例 7 の半導体発光素子の製造工程における結晶成長層の形成工程を示す製造工程斜視図である。

【図 12】

本発明の実施例 7 の半導体発光素子の製造工程における第 2 導電層の形成工程

を示す製造工程斜視図である。

【図 1 3】

本発明の実施例 7 の半導体発光素子の製造工程におけるコンタクト領域の形成工程を示す製造工程斜視図である。

【図 1 4】

本発明の実施例 7 の半導体発光素子の製造工程における電極の形成工程を示す製造工程斜視図である。

【図 1 5】

本発明の実施例 8 の半導体発光素子の断面図である。

【図 1 6】

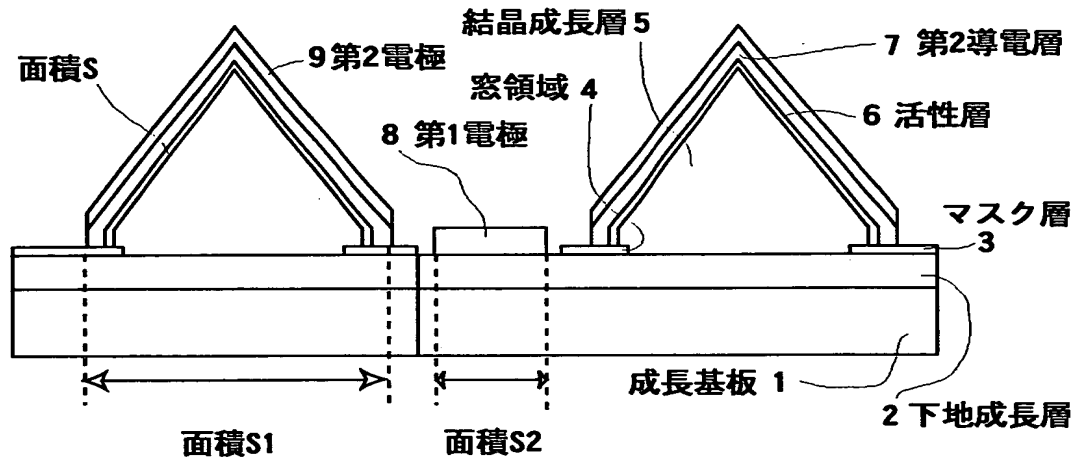
従来の半導体発光素子の構造例を示す断面図である。

【符号の説明】

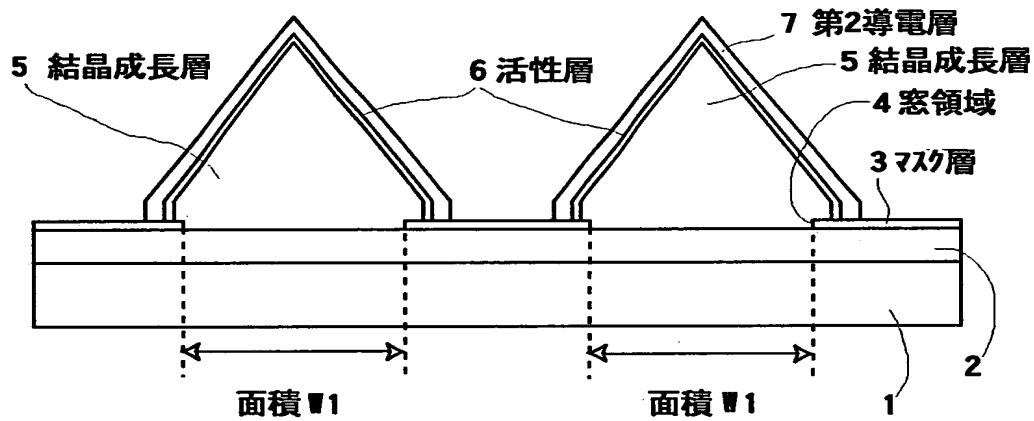
- 1、20、30、40、50、60、70 成長基板
- 2、21、31、41、51、61 下地成長層
- 3 22、32、42、52、62、72 マスク層
- 4 窓領域
- 5 結晶成長層
- 6 活性層
- 7 第2導電層
- 8 第1電極
- 9 第2電極
- 75 InGa_N層（活性層）

【書類名】 図面

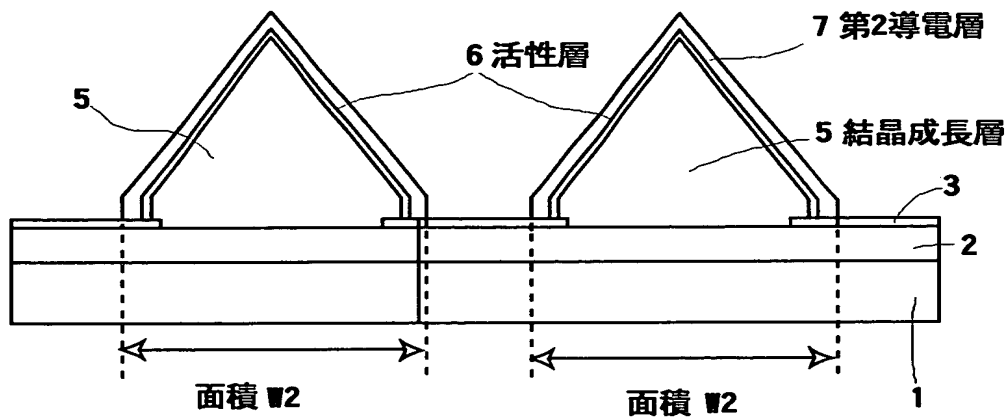
【図 1】



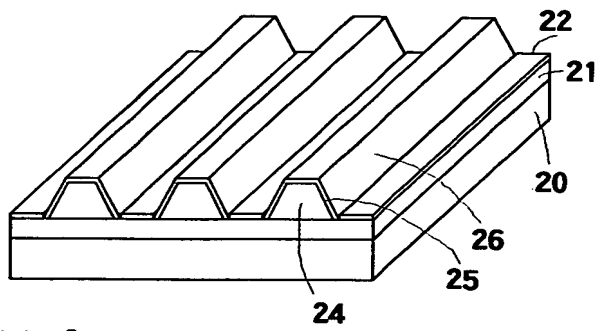
【図 2】



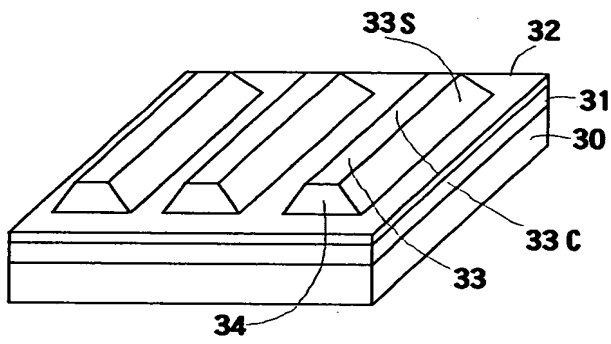
【図 3】



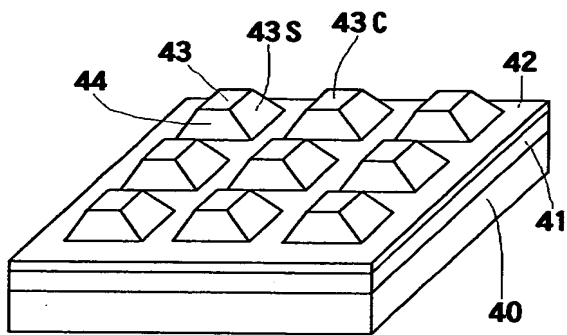
【図 4】



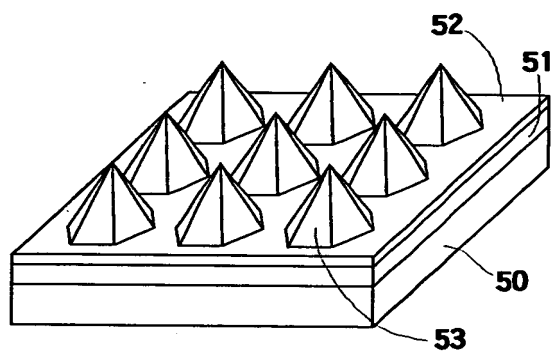
【図 5】



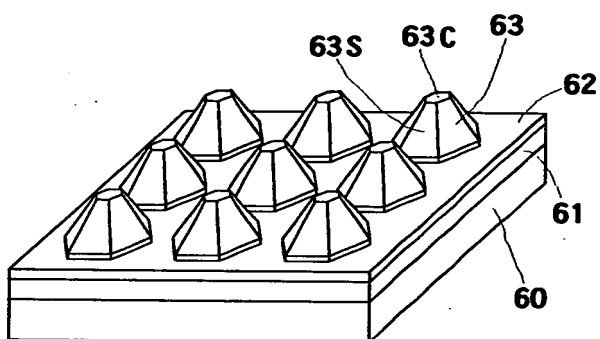
【図 6】



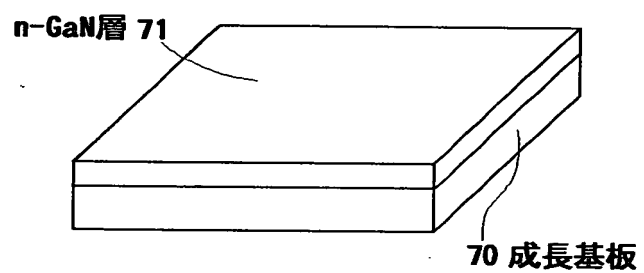
【図 7】



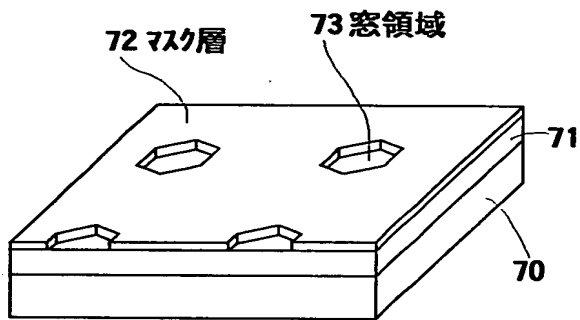
【図 8】



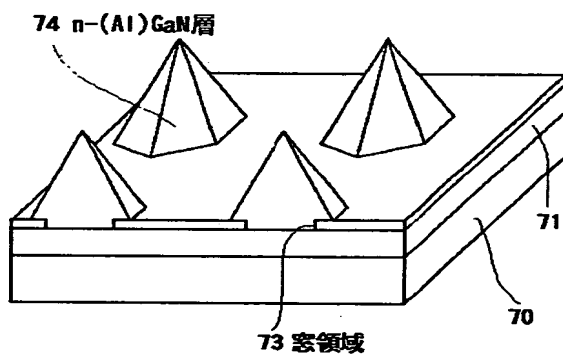
【図 9】



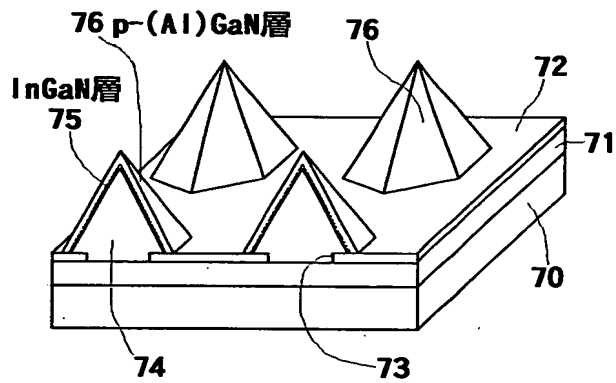
【図 1 0】



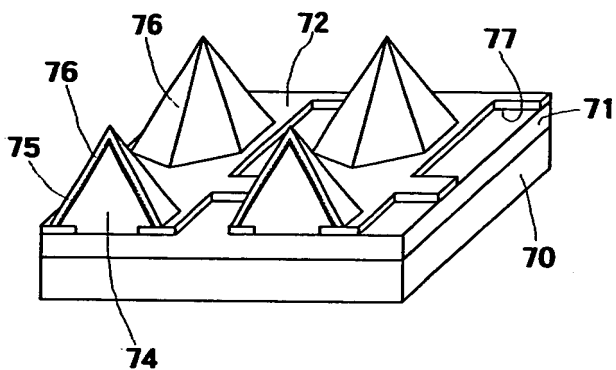
【図 1 1】



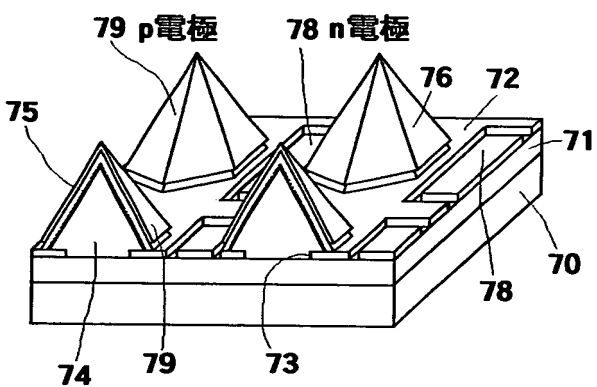
【図 1 2】



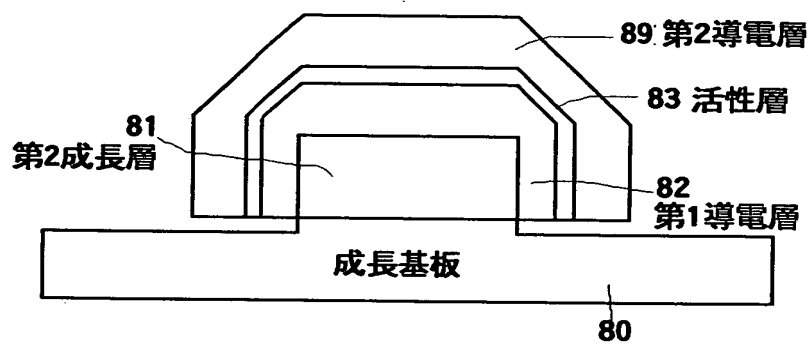
【図 1 3】



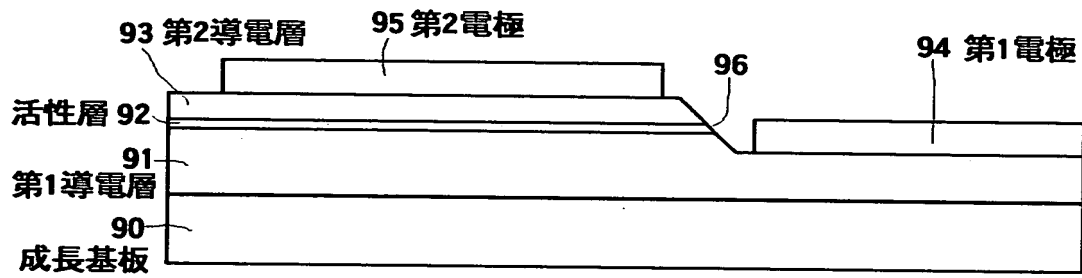
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 発光領域となる活性層になるべく負荷をかけずに素子の信頼性を保ち、また、光取り出し効率を改善して輝度の高い半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 選択成長により成長基板の主面に平行でなく延在される活性層を形成し、その活性層の面積は選択成長の際に用いた窓領域の面積より大きくされ、若しくは結晶成長した結晶成長層を前記成長基板の法線方向に投影した場合の写像面積よりも大きくされる。活性層が大きくされることから、有効に輝度飽和を緩和することができ、素子の信頼性を改善できる。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000002185]

1. 変更年月日 1990年 8月30日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都品川区北品川6丁目7番35号

氏 名 ソニー株式会社